# Índice de fuerza reactiva y su relación con la circunferencia de pantorrilla en voleibolistas universitarios chilenos

# Reactive strength index and its association with calf girth in Chilean volleyball players

Sebastián Aliste-Flores[1] (saliste@santotomas.cl)
Matías Cortes[1] (m.sebastian.cortes@gmail.com)
Nicolás Del Rio[1] (nicolas.andrm@gmail.com)
Alejandro Bustamante-Garrido[1] (abustamante7@santotomas.cl)
Felipe Inostroza-Ríos[1] (f.inostroza9@alumnos.santotomas.cl)

[1]Escuela de Ciencias del Deporte y Actividad Física, Universidad Santo Tomás Santiago Chile

Correspondencia:
Felipe Inostroza-Ríos
(f.inostroza9@alumnos.santotomas.cl)

**Resumen**

El salto está condicionado por diferentes factores, entre ellos, factores antropométricos y biomecánicos. El propósito de esta investigación es determinar la correlación entre el índice de fuerza reactiva (IFR) y la circunferencia de pantorrilla (CP) en jugadoras universitarias de voleibol. La muestra estuvo compuesta por 29 deportistas, se realizó la prueba de saltos repetidos con plataforma de contacto y se midió el CP. La correlación entre el CP y las variables biomecánicas se determinó mediante la prueba de Spearman. No se encontraron correlaciones significativas entre el CP y el IFR o la altura de salto. Los resultados de este estudio permiten reconocer que el CP no es un indicador directo de capacidad reactiva o altura de salto vertical.

**Palabras clave:** Saltos repetidos, capacidad reactiva, biomecánica, deporte, antropometría.

**Abstract**

The jump is conditioned by different factors, among them, anthropometric and biomechanical factors. The purpose of this research is to determine the correlation between reactive strength index (RSI) and calf girth (CG) in university volleyball players. The sample was composed of 29 athletes, the test of repeated jumps was performed, and the calf girt was measured. The correlation between CG and biomechanical variables was determined using the Spearman test. No significant correlations were found between CG and RSI or jump height. The results of this study which allows recognizing that the calf girth is not a direct indicator of reactive capacity or vertical jump height.

**Key Words:** Repeat jumps, reactive capacity, biomechanics, sport, anthropometric.

**Introducción**

En los deportes de equipo, ciertas habilidades como el sprint, el salto y los cambios de dirección juegan un papel determinante durante la competencia (Kabacinski et al., 2022). En el caso del voleibol, el salto vertical es una acción ejecutada frecuentemente durante un partido, dicha frecuencia de saltos depende en gran medida de las posiciones de juego. Por ejemplo, los jugadores centrales suelen realizar un promedio de 20 saltos por set, mientras que los armadores realizan 31 saltos y los rematadores realizan 13 saltos (Lima et al., 2019). Dada la importancia de este movimiento, es imprescindible entender los diversos componentes que contribuyen a optimizar el rendimiento del salto vertical.

Diferentes factores, tanto biomecánicos como antropométricos, influyen en la ejecución de un salto. Se ha demostrado que el pico de fuerza concéntrica y excéntrica se relaciona con la altura de salto (Marshall & Moran, 2015), lo que se puede asociar a la importancia del ciclo estiramiento-acortamiento (CEA) y la correcta utilización de este en el rendimiento del salto (Comyns et al., 2011; Kubo et al., 1999). En cuanto a los factores antropométricos, se ha demostrado que altos valores de masa corporal y masa grasa se correlacionan negativamente con la altura de salto (Nikolaidis et al., 2017). Otros factores que influyen en el rendimiento del salto es la longitud de las extremidades inferiores, que junto al perímetro máximo de pantorrilla presentan una correlación positiva en voleibolistas masculinos (Fattahi et al., 2012).

Se han desarrollado varios métodos para evaluar la capacidad de salto de los atletas. Se han descrito pruebas estándar como la batería de Bosco (1994), y pruebas específicas, como el salto en bloque y el salto con remate (Sattler et al., 2012). Las pruebas *drop jump* (DJ) y *repeat jumps* (RJ) son alternativas interesantes, debido a que manifiestan la fuerza reactiva asociada al CEA, implican una preactivación muscular y su ejecución técnica es más sencilla en comparación a saltos específicos de la disciplina.

La fuerza reactiva se ha definido como la capacidad de cambiar rápidamente de contracción excéntrica a una concéntrica, siendo el índice de fuerza reactiva (IFR) la variable que cuantifica esta manifestación de fuerza. Tradicionalmente, el IFR es el cociente entre la altura de salto (m) y el tiempo de contacto (s) (Young, 1995), sin embargo, también se ha calculado como el cociente entre el tiempo de vuelo (s) y el tiempo de contacto (s), el cual es denominado relación de fuerza reactiva (RFR) (Healy et al., 2016). Ambas variables han demostrado una fuerte correlación y, aunque no deben compararse directamente ni utilizarse indistintamente, presentan una elevada proporcionalidad

positiva (Healy et al., 2018). Esto es crucial, ya que, se ha descubierto que el IFR está asociada positivamente con el rendimiento durante el salto de aproximación en acciones específicas de voleibol (Pleša et al., 2022).

Se ha evidenciado que las medidas antropométricas se relacionan con la producción de fuerza del tren inferior en deportista entrenados (Hiikkinen & Keskinen, 1989). Más recientemente, se ha descubierto que una mayor masa segmentaria de muslo y pierna tiene una correlación significativa con el RFR (Díaz et al., 2006), similar a los hallazgos de Ashwini (2015), quien reportó una correlación significativa entre la altura del salto y la circunferencia de pantorrilla (CP). Sin embargo, ningún estudio ha investigado específicamente la correlación entre la fuerza reactiva y el CP específicamente.

El propósito de esta investigación es determinar la correlación entre el IFR y el CP en voleibolistas universitarias. Establecer esta relación podría potencialmente permitir el uso de la circunferencia de la pantorrilla como una medida antropométrica para indicar la fuerza reactiva en la selección de talentos y la evaluación física de los jugadores de voleibol.

## Materiales y métodos

### Diseño

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo-correlacional. El tipo de diseño corresponde a un estudio transversal no experimental.

### Muestra

La muestra consistió en 29 jugadoras universitarias de voleibol (edad = 21,66 ± 2,02 años, altura = 16,5 ± 0,06 m, masa corporal = 68,37 ± 9,63 kg) provenientes de 3 universidades diferentes. Todas entrenan un mínimo de 3 veces por semana con el objetivo de competir a nivel local. Por lo tanto, fueron clasificados como deportistas capacitadas o de nivel 2 según McKay et al. (2022). Se considero como criterio de exclusión, la presencia de patologías musculoesqueléticas o dolor el día de la evaluación. Todas las participantes dieron su consentimiento informado firmado.

Protocolos y procedimientos

Se inició con las mediciones antropométricas de masa, talla y CP. Para la medición del CP se realizó el protocolo descrito por Norton (2019), donde se indicó a los atletas que asumieran una posición bípeda relajada con una distribución uniforme del peso corporal, y se midió el perímetro máximo perpendicular al eje longitudinal de la pierna.

Una vez finalizadas las evaluaciones antropométricas, se realizó un calentamiento consistente en ejercicios de movilidad articular, aumento de la temperatura corporal y saltos de rebote continuos. La prueba realizada fue RJ, con una duración de 10 segundos en la que los atletas tuvieron que realizar tantos saltos como fuera posible con la máxima altura posible, procurado no flexionar en exceso la rodilla y permitiendo la utilización de los brazos (Bosco, 1994; García-López, 2003). Previo a la medición de saltos se realizó una familiarización, que consto de dos intentos por deportista.

Instrumentación

Para medir las variables de salto (tiempo de contacto, tiempo de vuelo, altura de salto y IFR), se utilizó una plataforma de contacto ChronoJump Boscosystem®. Los datos fueron recogidos por el microcontrolador Chronopic y procesados en el software Chronojump 2.3.0-63. Estos instrumentos demuestran ser válidos y fiables para la medición del salto vertical (De Blas Foix et al., 2012; Pueo et al., 2020).

Para las mediciones antropométricas, se utilizó una cinta antropométrica marca Rosscraft® con certificación internacional ISAK para le medición de circunferencia de pantorrilla, con una precisión de 1 mm y graduación de 1 cm. Además, se empleó una báscula y tallímetro Detecto® para la medición de masa y talla, con una graduación de 100 g y 1 cm respectivamente.

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan como valores de media y desviación estándar (DE). La distribución de las variables se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, indicando una distribución no normal para CP (p= 0,029) y distribución normal para tiempo de contacto (p= 0,773), tiempo de vuelo (p= 0,562), altura de salto (p= 0,321), $IFR_{max}$ (p= 0,145) y $IFR_{total}$ (p= 0,385). Posteriormente, se determinó la correlación entre el CP y las variables biomecánicas mediante la prueba de Spearman ($r_s$). Los valores umbral para la correlación fueron los siguientes según Hernández et al. (2014): 0 (nulo), 0 a 0.1 (muy

débil), 0.1 a 0.25 (débil), 0.25 a 0.5 (moderado), 0.5 a 0.75 (fuerte), 0.75 a 0.9 (muy fuerte), 0.9 a 1 (casi perfecto a perfecto), aplicando los mismos rangos para valores negativos. El nivel de significación estadística se estableció en $p<0,05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando SPSS Statistics 29 para Windows.
Para el análisis estadístico, se consideró el $IFR_{max}$, correspondiente al promedio del mejor IFR logrado en un salto por cada atleta; y el $IFR_{total}$, que corresponde al promedio de todos los IFR en todos los saltos para cada atleta.

**Resultados**

Los valores descriptivos de las evaluaciones se presentan con media y desviación estándar en la tabla 1.

Tabla 1
Variables antropométricas y biomecánicas de las deportistas.

| Variables | Media ± DE |
|---|---|
| Edad (años) | 21,66 ± 2,02 |
| Talla (m) | 16.5 ± 0.06 |
| Masa corporal (kg) | 68,37 ± 9,63 |
| Circunferencia de pantorrilla (m) | 0.36 ± 0.02 |
| Tiempo de contacto (s) | 0,23 ± 0,02 |
| Tiempo de vuelo (s) | 0,37 ± 0,05 |
| Altura de salto (m) | 0,18 ± 0,05 |
| $IFR_{max}$ | 1,10 ± 0,32 |
| $IFR_{total}$ | 0,78 ± 0,25 |

DE: Desviación estándar. $IFR_{max}$: Promedio de los mejores IFR.
$IFR_{total}$: Promedio todos los IFR.

Los resultados presentados en la tabla 2 indican que existe una correlación negativa muy débil entre la circunferencia de la pantorrilla y la $IFR_{max}$, así como una correlación positiva muy débil entre la circunferencia de la pantorrilla y la $IFR_{total}$, sin

significancia estadística. En cuanto a la correlación con la altura de salto, se identificó una correlación positiva muy débil y no significativa.

Tabla 2
Coeficiente de correlación entre la circunferencia de pantorrilla y variables del salto vertical.

| | Valor $r_s$ | Valor p |
|---|---|---|
| $IFR_{max}$ | -0,025 | 0,90 |
| $IFR_{total}$ | 0,064 | 0,74 |
| Altura de salto | 0,029 | 0,88 |

$IFR_{max}$: Promedio de los mejores IFR.
$IFR_{total}$: Promedio todos los IFR.

**Discusión**

El propósito de esta investigación fue determinar la correlación entre el CP y el IFR en voleibolistas universitarias. No obstante, se determinó que la correlación entre estas variables es casi nula, considerando tanto el $IFR_{max}$ como también el $IFR_{total}$. No se han encontrado otros estudios que examinen la asociación entre estas variables. Si bien, Díaz et al. (2006) concluyeron que el RFR se correlaciona positivamente con la masa segmentaria de la pierna, no especifican la magnitud de la correlación. Además, las dimensiones de estas variables, aunque sean similares a las nuestras, no pueden compararse de forma fiable con nuestros hallazgos.

Un reciente metaanálisis concluyo que el entrenamiento pliométrico aumenta el volumen y circunferencia de muslo y pierna (Ramirez-Campillo et al., 2022), lo que es digno de mención ya que establece una relación causal entre este tipo de entrenamiento y sus adaptaciones estructurales. A pesar de que nuestros atletas entrenaban tres veces a la semana, afirmaron que no realizaban preparación física específica ni entrenamiento pliométrico, lo que podría explicar su baja capacidad de fuerza reactiva y la ausencia de adaptaciones estructurales resultantes de este tipo de entrenamiento.

Cuando se trata de los mecanismos estructurales que influyen en la capacidad reactiva, se encuentra el grado de elasticidad del tendón y del vientre muscular (principalmente otorgado por la titina). Se ha demostrado que una rigidez adecuada en

las extremidades inferiores puede mejorar el rendimiento del salto vertical (McMahon et al., 2012). Más específicamente, se ha demostrado que existen correlaciones debiles a moderadas entre el IFR y la rigidez del tendón calcáneo durante el DJ (Gervasi et al., 2022). Es importante señalar que hasta la fecha solo dicho estudio ha establecido esta asociación.

En cuanto, a la asociación entre el CP y la altura del salto, nuestros resultados son contrarios a investigaciones previas. A lo largo de los años, se han observado diferentes correlaciones: positiva moderada (Ashwini, 2015; Mielgo-Ayuso et al., 2015), positivas débil (Mohemed et al., 2015) y negativa moderada (Aiyegbusi et al., 2017), todas estas estadísticamente significativas.

Las diferencias metodológicas en las muestras estudiadas, así como los protocolos y procedimientos de evaluación, podrían explicar estas discrepancias. Mielgo-Ayuso et al. (2015), evaluó voleibolistas profesionales de la super liga española y Mohemed et al. (2015) evaluó deportistas masculinos de baloncesto, fútbol y cricket, lo que podría explicar en parte la diferencia con nuestros resultados, debido, al alto nivel competitivo de las atletas en el primer caso, y al género de los deportistas y la especificidad de la disciplina en el segundo caso. Por otro lado, Aiyegbusi et al. (2017) evaluó basquetbolistas recreativos entre los 16 y 35 años, el amplio rango de edad de los sujetos podría explicar el sentido negativo de la correlación. Respecto a las evaluaciones, Aiyegbusi et al. (2017), Mielgo-Ayuso et al. (2015) y Mohemed et al. (2015) realizaron saltos tipo Abalakov, lo que permite obtener alturas de salto notoriamente superiores a los RJ, siendo esta probablemente, la característica más relevante para explicar la disparidad con nuestros resultados. Ashwini (2015), no proporcionó información detallada sobre la muestra estudiada o los protocolos de medición, por lo que sus resultados deben interpretarse con cautela.

En resumen, nuestro estudio es el primero en analizar la correlación entre el CP y variables biomecánicas del salto vertical (IFR y altura del salto) a través de los RJ. No evidenciamos correlaciones significativas entre dichas variables. Estos hallazgos representan un paso inicial para determinar la asociación entre el CP y el IFR. La correlación entre el CP y la altura del salto aun no es clara, y se debe seguir investigando en diferentes contextos deportivos.

Limitaciones y proyecciones

Una limitación de nuestro estudio fue la incapacidad para corregir la circunferencia de la pantorrilla a través de su respectivo pliegue, de los estudios antes mencionados solo Mielgo-Ayuso et al. (2015) realizo este procedimiento para el análisis estadístico. Además, no se contó con la instrumentación necesaria para medir mecanismos estructurales en nuestro estudio, como la rigidez del tendón calcáneo, que ha demostrado asociaciones significativas con el IFR.

En base a todo lo anterior, recomendamos que futuras investigaciones analicen la asociación que puede existir entre variables estructurales (circunferencia de pantorrilla corregida o rigidez del tendón calcáneo) con variables biomecánicas del salto vertical (IFR, RFR o altura del salto) en población que realice frecuentemente entrenamiento pliométrico.

**Conclusión**

En conclusión, nuestro estudio no encontró una correlación significativa entre el CP y el $IFR_{max}$, $IFR_{total}$, o la altura del salto en voleibolistas universitarias de nivel 2. Lo que permite reconocer que el CP no es un indicador directo de la capacidad reactiva, ni la altura de salto vertical. Los resultados de esta investigación contribuyen a la descripción de variables antropométricas y variables biomecánicas del RJ en esta población. Se recomienda que futuras investigaciones estudien la asociación entre variables estructurales y biomecánicas del salto vertical en población que realice entrenamiento pliométrico.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener conflictos de interés asociados.

**Financiamiento:** Esta investigación no conto con financiamiento alguno.

**Referencias**

Aiyegbusi, A. I., Fapojuwo, O. O., & Ayodele, A. (2017). Vertical jump performances in recreational basketball players: the role of physical characteristics and anthropometric parameters of the lower limbs. *Journal of the Romanian Sports Medicine Society*, *XIII*, 2853–2859.

Ashwini, K. (2015). A study on relationship between calf muscle girth and and vertical jump ability. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*, *3*(1), 362–363.

Bosco, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco* (J. Padulles, Ed.; Vol. 1). Editorial Paidotribo.

Comyns, T. M., Harrison, A. J., & Hennessy, L. K. (2011). An investigation into the recovery process of a maximum stretch-shortening cycle fatigue protocol on drop and rebound jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(8), 2177–2184.

De Blas Foix, X., Padullés, J., & González-Gómez, J. (2012). Proyecto Chronojump: Sistema de Medida y Gestión de la Capacidad de Salto usando Software y Hardware Libres. *Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, *8*(30), 334–356.

Díaz, G., Vera, O., & Contreras, D. (2006). Análisis del índice de elasticidad y fuerza reactiva, bajo el concepto de longitudes y masas segmentales de los miembros inferiores. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, *96*. https://www.efdeportes.com/efd96/masas.htm

Fattahi, A., Ameli, M., Sadeghi, H., & Mahmoodi, B. (2012). Relationship between anthropometric parameters with vertical jump in male elite volleyball players due to game's position. *Journal of Human Sport and Exercise*, *7*(3), 714–726. https://doi.org/10.4100/jhse.2012.73.11

García-López, J. G. ; (2003). Test de salto vertical: Aspectos funcionales. *Rendimiento*, *6*, 1–14. http://www.rendimientodeportivo.com/N006/artic029.htm

Gervasi, M., Benelli, P., Venerandi, R., & Fernández-Peña, E. (2022). Relationship between Muscle-Tendon Stiffness and Drop Jump Performance in Young Male Basketball Players during Developmental Stages. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(24). https://doi.org/10.3390/ijerph192417017

Healy, R., Kenny, I. C., & Harrison, A. J. (2016). Assessing reactive strength measures in jumping and hopping using the optojump™ system. *Journal of Human Kinetics*, *54*(1), 23–32. https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0032

Healy, R., Kenny, I. C., & Harrison, A. J. (2018). Reactive strength index: A poor indicator of reactive strength? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(6), 802–809. https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0511

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Interamericana.

Hiikkinen, K., & Keskinen, K. L. (1989). Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength-and endurance-trained athletes and sprinters. In *Applied Journal of Physiology and Occupational Physiology* (Vol. 59). Springer-Verlag.

Kabacinski, J., Szozda, P. M., Mackala, K., Murawa, M., Rzepnicka, A., Szewczyk, P., & Dworak, L. B. (2022). Relationship between Isokinetic Knee Strength and Speed, Agility, and Explosive Power in Elite Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(2). https://doi.org/10.3390/ijerph19020671

Kubo, K., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, *87*(6), 2090–2096. http://www.jap.org

Lima, R. F., Palao, J. M., & Clemente, F. M. (2019). Jump Performance During Official Matches in Elite Volleyball Players: A Pilot Study. *Journal of Human Kinetics*, *67*(1), 259–269. https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0080

Marshall, B. M., & Moran, K. A. (2015). Biomechanical Factors Associated With Jump Height A Comparison of Cross-Sectional and Pre-to-Posttraining Change Findings. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(12), 3292–3299.

McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2022). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *17*(2), 317–331. https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0451

McMahon, J. J., Comfort, P., & Pearson, S. (2012). Lower Limb Stiffness: Effect on Performance and Training Considerations. *Strength & Conditioning Journal*, *34*(6), 94–101. https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3182781b4e

Mielgo-Ayuso, J., Calleja-González, J., Clemente-Suárez, V. J., & Zourdos, M. C. (2015). Influence of anthropometric profile on physical performance in elite female volleyballers in relation to playing position. *Nutricion Hospitalaria*, *31*(2), 849–857. https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.2.7658

Mohemed, S., Pais, V., Afshan, S., Shemjaz, A., & Pais, S. (2015). Relationship of limb girth, segmental limb length, hamstring flexibility with vertical jump in male sports players. *International Journal of Current Research and Review*, *7*, 72–75. https://www.researchgate.net/publication/272678441

Nikolaidis, P. T., Gkoudas, K., Afonso, J., Clementesuarez, V. J., Knechtle, B., Kasabalis, S., Kasabalis, A., Douda, H., Tokmakidis, S., & Torres-Luque, G. (2017). Who jumps the highest? Anthropometric and physiological correlations of vertical jump in youth elite female volleyball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *57*(6), 802–810. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06298-8

Norton, K. I. (2019). Standards for Anthropometry Assessment. In *Kinanthropometry and Exercise Physiology* (pp. 68–137). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315385662-4

Pleša, J., Kozinc, Ž., Smajla, D., & Šarabon, N. (2022). The association between reactive strength index and reactive strength index modified with approach jump performance. *PLoS ONE*, *17*(2 February). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264144

Pueo, B., Penichet-Tomas, A., & Jimenez-Olmedo, J. M. (2020). Reliability and validity of the Chronojump open-source jump mat system. *Biology of Sport*, *37*(3), 255–259. https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.95636

Ramirez-Campillo, R., García-Pinillos, F., Nikolaidis, P. T., Clemente, F. M., Gentil, P., & García-Hermoso, A. (2022). Body composition adaptations to lower-body plyometric training: A systematic review and meta-analysis. *Biology of Sport*, *39*(2), 273–287. https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2022.104916

Sattler, T., Sekulic, D., Hadzic, V., Uljevic, O., & Dervisevic, E. (2012). Vertical jumping tests in volleyball: reliability, validity, and playing-position specifics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(6), 1532–1538.

Young, W. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics*, *10*(1), 89–96.